

51

19 BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Int. Cl. 2:

B 23 K 26/00

H 03 H 3/04

DE 27 13 904 A 1

11

## Offenlegungsschrift 27 13 904

21

Aktenzeichen: P 27 13 904.4-34

22

Anmeldetag: 29. 3. 77

23

Offenlegungstag: 5. 10. 78

30

Unionspriorität:

32 33 31

—

54

Bezeichnung: Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von mittels Laserstrahl erzeugten gratfreien Bohrungen

71

Anmelder: Siemens AG, 1000 Berlin und 8000 München

72

Erfinder: Müller, Paul, 8000 München

---

Prüfungsantrag gem. § 28 b PatG ist gestellt

DE 27 13 904 A 1

9.78 809 840/280

6/70

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von mittels Laserstrahlung erzeugten gratfreien Bohrungen, gemäß dem man den Bohrgrat in an sich bekannter Weise durch Defokussierung des Laserstrahles aufschmelzt und einschußseitig mit dem Material des Werkstückes verschweißt, dadurch gekennzeichnet, daß man schon während des Bohrvorganges den sich laufend bildenden Bohrgrat (22) durch Anwendung eines weiteren, den Laserbohrstrahl (11) überlagernden und gegenüber diesem defokussierten Schmelzstrahles (13) verschweißt.
2. Vorrichtung zur Ausübung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Bearbeitungslaserstrahl (3) in einen am Arbeitsort eine hohe Energiedichte aufweisenden Bohrstrahl (11) und einen am Arbeitsort den Bohrstrahl ummantelnden und eine geringere Energiedichte aufweisenden Schmelzstrahl (13) aufgegliedert ist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Bearbeitungslaser ein bifokussierendes Mehrlinsen-Objektiv (14) aufweist, das den Laserstrahl (3) in einen energiereichen Bohrstrahl (11) und einen eine geringere Energiedichte als der erstere aufweisenden Schmelzstrahl (13) aufgliedert, wobei die Brennpunkte (P1) des Bohrstrahles (11) und (P2) des Schmelzstrahles (13) auf der optischen Achse (A) gelegen sind.
4. Vorrichtung nach Anspruch 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Objektiv-Linse (19) für den Bearbeitungslaser eine Ringlinse (20) und eine planar hierzu angeordnete Kernlinse (21) ist, wobei diese beiden Linsenkörper (20, 21) aus Materialien unterschiedlicher Brechungskraft bestehen.
5. Vorrichtung nach Anspruch 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Objektiv-Linse (19) eine Fresnel-Linse ist.
6. Vorrichtung nach Anspruch 2 und 3, dadurch gekennzeichnet,

809840 / 0280

daß das Objektiv (14) eine Ringlinse (20') sowie eine Kernlinse (21') aufweist, die komplanar zu inander angeordnet sind.

7. Vorrichtung nach Anspruch 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Laserobjektiv (14) eine ringförmige Objektiv-Linse (20') und eine hierzu komplanar gelegene Linse (25) aufweist, die gegeneinander einstellbar sind und daß diese beiden Linsen nur die Mantelzone des Laserstrahles (3) beeinflussen.

8. Vorrichtung nach Anspruch 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Kernlinse (21') bzw. die Zwischenlinse (25) in Richtung der optischen Achse verstell- und einstellbar sind.

9. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß sie zwei Bearbeitungslaser (10 und 12) aufweist, und daß die optische Achse (A') des Schmelzstrahles (13) unter einem spitzen Winkel (W) zur optischen Achse (A) des Bohrstrahles (11) gerichtet ist und daß die beiden optischen Achsen (A und A') sich im Brennpunkt P1 des Bohrstrahles (11) schneiden.

809840/0280

Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von mittels Laserstrahl erzeugten grätfreien Bohrungen

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Herstellen von mittels Laserstrahlung erzeugten grätfreien Bohrungen, gemäß dem man den Bohrgrad in an sich bekannter Weise durch Defokussierung des Laserstrahles aufschmelzt und einschuß-  
5 seitig mit dem Material des Werkstückes verschweißt.

Das Bohren und Schneiden von Werkstücken mittels hochenergie-reichen Strahlen, vorzugsweise unter Anwendung von gepulstem Laserlicht, ist bekannt. Beim Bohren entsteht an der Bohrung-  
10 kante bzw. dem Bohrkrater ein Grat, der je nach der Art des zu bohrenden oder schneidenden Materials sowie von der Energie-dichte des Strahles verschiedene Formen aufweist. So kann z.B. beim Bohren von Stahl der Grat in Form von mit dem Werkstück verbundenen Tropfen aber auch in der Art von Nadeln nur lose  
15 mit dem Werkstück verbunden sein. Wird das Werkstück später hohen Beschleunigungskräften ausgesetzt, wie dies z.B. bei zur Frequenzstabilisierung dienenden Stahlbiegeschwingern der Fall ist, so kann es vorkommen, daß Teile des Grates abbrechen und in der benachbarten Umgebung des Werkstückes die Funktion von  
20 Vorrichtungen nachteilig beeinflussen; auch wird durch den abge-brochenen Grat die Eigenfrequenz des Stahlbiegeschwingers zum Teil erheblich geändert. Zur Vermeidung dieses Nachteiles wurde im deutschen Patent Nr. 23 55 428 vorgeschlagen, den Bohrgrad in an sich bekannter Weise durch Defokussierung des Laserstrahles  
25 aufzuschmelzen und mit der Stirnfläche des Biegeschwingers zu ver-

Gil 1 Kow / 21.3.1977 809840/0280

schweißen.

4

Derartige Stahlbiegeschwinger haben sich gut bewährt. Indessen ist die Herstellungsweise dieses bekannten Stahlbiegeschwingers 5 zeitaufwendig. Nach erfolgtem Abgleichen wird der Bohrgrat durch die Fokussierung des Laser- bzw. Elektronenstrahles niedergeschmolzen und mit der Stirnfläche des Stahlbiegeschwingers verschweißt. Dadurch kann es vorkommen, daß sich die Eigenfrequenz des Stahlbiegeschwingers ändert. Es muß unter Umständen ein er- 10 neuter Abgleich vorgenommen werden. Ist der Bohrgrat hinsichtlich seiner Masse vergleichsweise groß, wie dies bei relativ tiefen Einschüssen in die Stirnfläche eines Stahlbiegeschwingers vorkommt, so bedingt dieser Umstand eine längere Einwirkung des defokussierten Bearbeitungsstrahles auf das Werkstück und somit 15 einen höheren Zeitaufwand. Entsprechende Nachteile treten bei allen mittels Laserstrahl erzeugten Bohrungen auf, bei welchen der Bohrgrat in einem späteren Arbeitsgang mit dem Werkstück verschweißt werden soll. Diese Nachteile sollen durch die Erfindung behoben werden. Dies geschieht gemäß dem erfinderischen Verfahren 20 dadurch, daß man schon während des Bohrvorganges den sich laufend bildenden Bohrgrat durch Anwendung eines weiteren, den Laser-Bohrstrahl überlagernden und gegenüber diesem defokussierten Laser-Schmelzstrahles verschweißt.

25 Durch diese erfinderische Verfahrensweise wird demnach der sich bildende Bohrgrat schon während seiner Entstehung kontinuierlich mit der dem Laser-Bohrstrahl zugekehrten Fläche des Werkstückes verschweißt. Bei der während des Abgleichens eines Stahlbiegeschwingers laufend erfolgenden Messung seiner Eigenfrequenz und 30 dem Vergleich der Istfrequenz mit einer Sollfrequenz, z.B. gemäß der DT-OS 23 13 574 entfällt somit eine Nachbehandlung bzw. eine erneute Überprüfung der Eigenfrequenz des Stahlbiegeschwingers nach erfolgtem Verschweißen des Bohrgrates mit der Stirnfläche des Stahlbiegeschwingers.

35 Zur Ausübung des Verfahrens bedient man sich vorteilhaft eines Bearbeitungslasers, dessen Linsensystem vorzugsweise dessen Objektiv den Bearbeitungslaserstrahl in einen Bohrstrahl und in

809840 / 0280

COPY

einen in seiner optischen Achse liegenden und gegenüber dem ersten ren defokussierten Schmelzstrahl aufgliedert. Besonders vorteilhaft ist s, mit nur einem Bearbeitungslaser zu arbeiten, wobei man mittels eines M hrlinsen-Objektives den Laserstrahl in 5 einen Bohrstrahl und einen eine geringere Energiedichte als der erstere aufweisenden Schmelzstrahl aufgliedert.

Nach einem weiteren Merkmal der Erfindung besitzt das Objektiv des Bearbeitungslasers ein bifokussierendes Linsensystem zur Erzeugung des Bohr- und Schmelzstrahles, deren Brennpunkte in Abstand auf der beiden Strahlen gemeinsamen optischen Achse gelegen sind. Möchte man auf ein bifokussierendes Linsensystem verzichten, so kann man auch den Laser-Schmelzstrahl unter einem Spitzwinkel auf den Bearbeitungsort des Bohrstrahles projizieren.

15 Bei der Befolgung der erfinderischen Lehre ist es mit vergleichsweise einfachen Mitteln möglich, den sich beim Bohren mittels Laserstrahl bildenden Grat schon während seiner Entstehung niedierzuschmelzen bzw. bei einem Stahlbiegeschwinger mit der 20 Stirnfläche des Biegeschwingers zu verschweißen.

Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind aus den Unteransprüchen ersichtlich.

25 Es zeigen:

Figur 1 eine gemäß dem erfinderischen Verfahren arbeitende Vorrichtung zum Abgleichen eines Stahlbiegeschwingers,  
Figuren 2 bis 5 verschiedene Linsen-Anordnungen des Bearbeitungslaser-Objektives zur Erzeugung eines Bohr- und Schmelzstrahles,

30 Figur 6 zwei Bearbeitungslaser, deren Strahlen unter einem spitzen Winkel zueinander gerichtet sind.

Gemäß Figur 1 werden zum Abgleich eines Stahlbiegeschwingers 1 in seine Stirnfläche 2 mittels eines Laserstrahles 3 Bohrungen eingeschossen. Der Stahlbiegeschwinger ist bei 4 eingespannt; er wird mittels eines Elektromagneten 5 über einen Oszillatator 6 zu Schwingungen angeregt. Die Eigenfrequenz des Stahlbiege-

809840 / 02811

COPY

-4- 6

schwingers wird mittels eines Adapters 7 rfaßt und die Meßgröße über einen Verstärker 8 ein in Soll-Istw rt-Vergleicher 9 zugeführt. Ein den Bohrstrahl 11 erzeugender Bearbeitungslaser 10 arbeitet hier - ebenfalls in an sich bekannter Art - mit 5 einem zweiten Laser 12 zusammen; er erzeugt den Schmelzstrahl 13. Mittels eines Objektives 14 werden die hier in einer gemeinsamen optischen Achse A verlaufenden Laserstrahlen aufgegliedert, derart, daß Brennpunkte P1 und P2 des Bohr- und Schmelzstrahles auseinanderliegen bzw. die mittels des Objektives erzeugten Brennweiten 10 der beiden Strahlen 11 und 13 unterschiedlich sind. Wird 10 vom Soll-Ist-Vergleicher 9 eine Übereinstimmung zwischen der Soll- und Istfrequenz ermittelt, so wird der Generator 6 sowie die Laser 10 und 12 abgeschaltet. Im vorliegenden Beispiel sind zwei 15 Bearbeitungslaser 10 und 12 vorgesehen, wobei - in diesem Beispiel - der Schmelzstrahl 13 über einen Umlenkspiegel 16 in die optische Achse A des Bohrerstrahles 11 eingeblendet wird. Sofern der den Bohrstrahl 11 erzeugende Bearbeitungslaser energiereich ist, genügt es und ist es vorteilhaft, mit nur einem Bearbeitungslaser zu arbeiten.

20

Wie in Figur 2 dargestellt, ist der von einem oder zwei Bearbeitungslasern erzeugte Laserstrahl 3 durch ein Linsensystem 14, bestehend im wesentlichen aus einer bikonkaven Streulinse 18 sowie einer Objektiv-Linse 19, in einen Bohrstrahl 11 und einen 25 Schmelzstrahl 13 aufgegliedert. Zu diesem Zweck ist die Objektiv-Linse 19 zweiteilig gebildet; sie besteht aus einer Ringlinse 20 und einer planar hierzu angeordneten Zentrallinse 21. Die Linsenmaterialien dieser Linsen sind unterschiedlich; die Brechkraft der Zentrallinse 21 ist hier größer als jene der Ringlinse 30. Wie ersichtlich, bilden die Ringlinse mit der Zentrallinse eine Linseneinheit, wobei die Krümmungsradien  $R_1$  und  $R_2$  der planar zueinander liegenden Linsen beiden gemeinsam sind. Das Objektiv 14 ist derart angeordnet, daß der hier von der Zentrallinse 21 erzeugte Brennpunkt des Bohrstrahles 11 auf der Stirnfläche 2 des Biegeschwingers 1 gelegen ist. Der von der Ringlinse 20 erzeugte Brennpunkt P2 des Schmelzstrahles 13 besitzt eine 35 größere Brennweite  $f_2$  als die des Bohrstrahles  $f_1$ . Dies hat zur Folge, daß der Schmelzstrahl während des Bohrvorganges bzw.

809840/0280

während d s Abgl ich ns die Randzone Z des Bohrloches 15 beaufschlagt und dabei d n Bohrgrat 22 aufschmelzt; dadurch verschweißt der Bohrgrat mit der Stirnfläche 2 des W rkstückes 1.

5 Die Streulinse 18 der Objektivlinse 19 ist hier wahlweise in Richtung der Pfeile 23 verstell- und einstellbar. Durch diese Maßnahme kann eine Strahlenaufteilung in Bezug auf die gewünschten Energiedichten des Bohr- und Schmelzstrahles in begrenztem Umfang herbeigeführt werden.

10 Figur 3 zeigt eine andere Ausbildung der Objektivlinse 19 des Linsensystems 14 des Bearbeitungslasers. Hier ist die Objektivlinse 19 einteilig gebildet; das Linsenmaterial ist homogen. Die Objektivlinse ist hier nach Art einer Fresnellinse gebildet, d.h. der Linsenkörper besitzt Flächen unterschiedlicher sphärischer Krümmung, wie dies durch die Radien R3 und R4 angedeutet ist. Die Wirkungsweise dieser Linse entspricht im übrigen jener der Figur 2.

15 Figur 4 zeigt ein anderes Linsensystem des Objektives eines Bearbeitungslasers gemäß der Figur 2. Zum Unterschied gegenüber der letztgenannten Ausführungsform ist hier die Zentral- oder Kernlinse 21' getrennt von der Ringlinse 20' und komplanar zu ihr angeordnet, sowie zwischen der in Pfeilrichtung 23 einstellbaren Streulinse 18 und der Ringlinse 20' gelegen; sie ist in Pfeilrichtung 24 einstellbar. Die Brennpunkte P1 und P2 des Bohrstrahles 11 und des Schmelzstrahles 13, aber auch ihre Strahlenquerschnitte, sind so in geeigneter Weise zueinander abstimmbar. Eine derartige Ausführungsform des Objektives ist daher zu bevorzugen.

20 Figur 5 zeigt eine andere Anordnung des Laserobjektives eines Bearbeitungslasers. Die Objektivlinse 20' ist ringförmig gebildet, wobei jedoch im Gegensatz zur Figur 4 eine Zwischenlinse 25 dazu dient, im Zusammenwirken mit der Ringlinse 20' den Schmelzstrahl 13 gegenüber dem Bohrstrahl 11 einstellbar zu halten. Dies geschieht durch eine Einstellung der Zwischenlins 25 in Richtung der Pfeile 26. Wie ersichtlich ist der Schmelzstrahl 13 vom Bohrstrahl 11 ummantelt, wobei der Brenn-

25

30

35

6-8  
punkt P1 d s Bohrstrahles auch hier in der Bearbeitungsebene E gel gen ist.

Die in den Figuren 2 bis 5 gezeigten Lins nsysteme sind lediglich 5 schematisch dargestellt, wobei zur besseren Übersicht auf die Darstellung der zur Anwendung kommenden Korrekturlinsen verzichtet wurde.

Figur 6 zeigt eine Anordnung zum Bohren von Löchern mittels eines 10 Laserstrahles, nämlich den Bohrstrahl 11, wobei jedoch hier der die optische Achse 27 des Schmelzstrahles 13 unter einem spitzen Winkel W zur optischen Achse A des Bohrstrahles gerichtet ist. Wie ersichtlich dienen auch hier zwei Bearbeitungslaser 10 und 12 15 zur Erzeugung des Bohr- und Schmelzstrahles. Sind die Laser parallel zu einander angeordnet, - wie dargestellt - so verwendet man vorteilhaft einen Justierspiegel 28 mit einer nachgeordneten Optik 29, welche den Schmelzstrahl 13, den Bohr strahl 11 überlagernd, auf den Arbeitsort projiziert.

9 Patentansprüche

6 Figuren

009840 / 0280

- 9 -  
Leerseite

**Numm. r.:** 27 13 304  
**Int. Cl. 2:** B 23 K 26/00  
**Anmeldestag:** 29. März 1977  
**Offenlegungstag:** 5. Oktober 1978

- 11 - VPA 77 P 7030 BRD 2/1

2713904

Fig.1

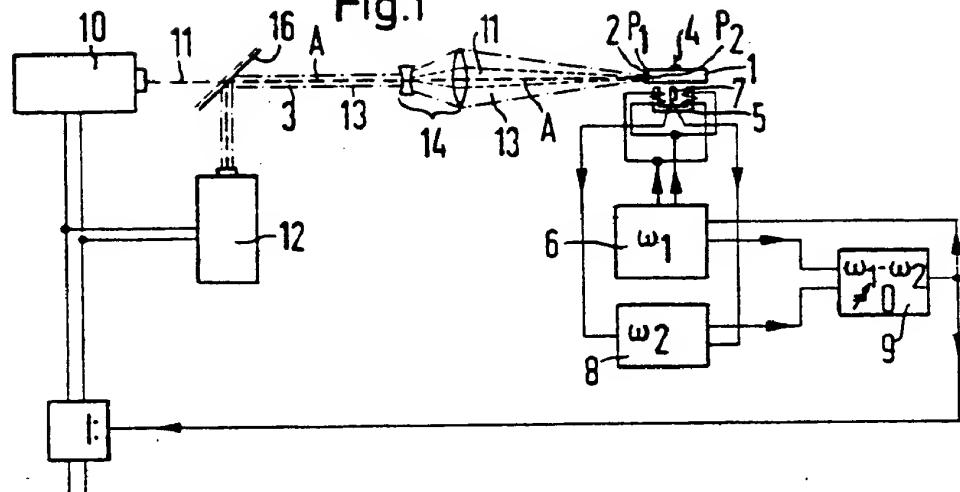


Fig. 2

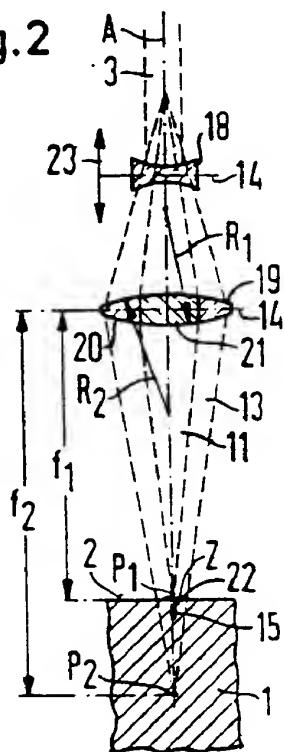
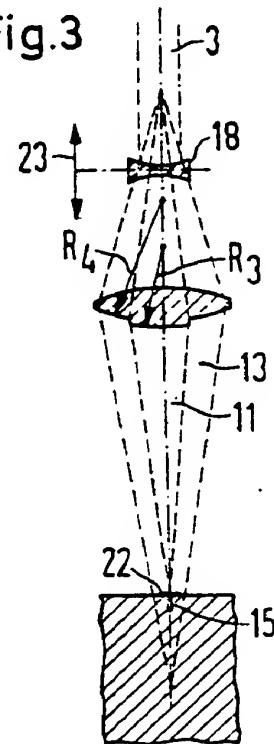


Fig.3



809840/0280

Siemens AG

2713904

Fig.4

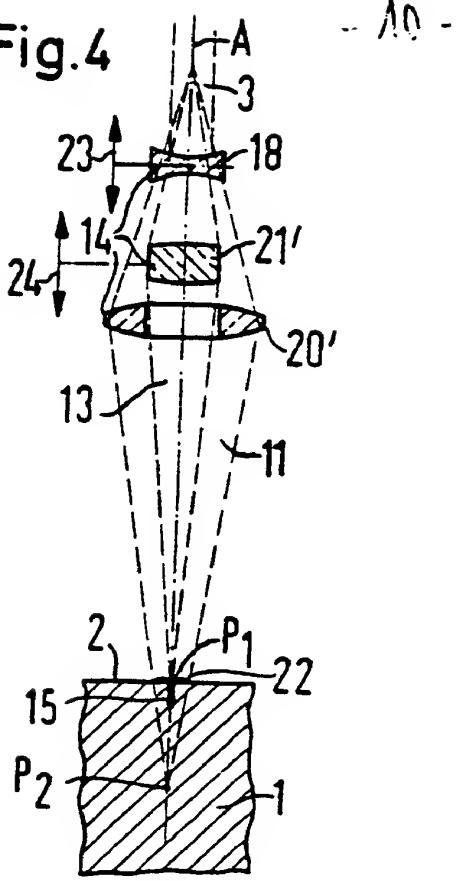


Fig.5

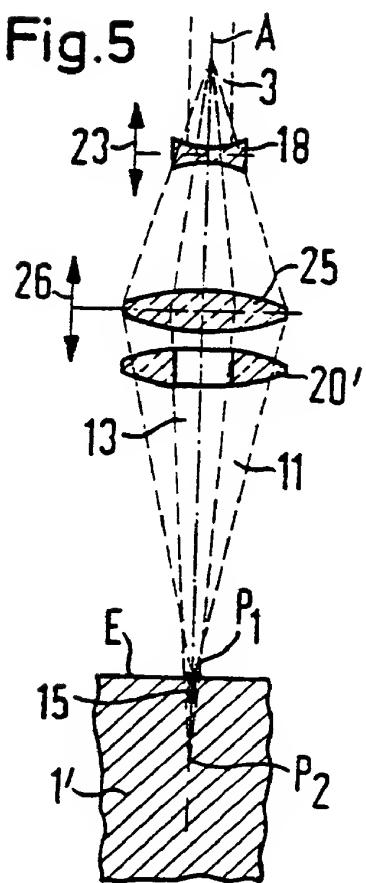
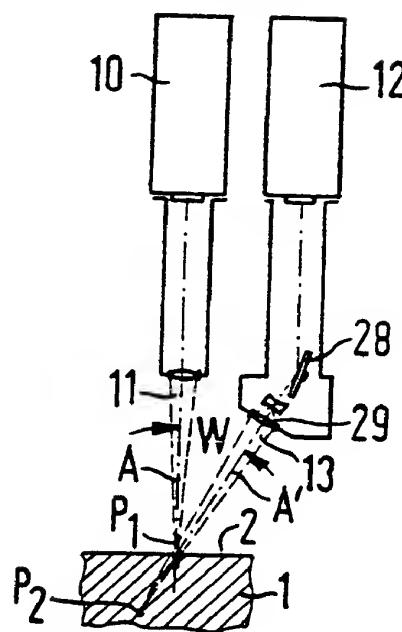


Fig.6



809840/0280

Siemens AG